

# Índice General

<b>1</b>	<b>La evolución de la robótica</b>	<b>1</b>
1.1	Marco general del proyecto . . . . .	1
1.2	Torre Bot: Etapas en la construcción de un robot . . . . .	6
1.3	Planificación del proyecto . . . . .	9
1.4	Estado actual . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Estructura mecánica</b>	<b>19</b>
2.1	Morfología de los insectos y mamíferos . . . . .	19
2.2	Esbozo del primer prototipo . . . . .	21
2.3	Prototipo final: Planos y montaje . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Servomecanismos</b>	<b>41</b>
3.1	Descripción técnica . . . . .	41
3.2	Control de servomecanismos . . . . .	47
3.2.1	Generación de PWM sin interrupciones . . . . .	48
3.2.2	Generación del PWM mediante interrupciones . . . . .	52
3.3	Programación desde el PC . . . . .	55
3.3.1	El programa servidor: FSERVER . . . . .	56
3.3.2	Un programa cliente: futaba.c . . . . .	61
3.4	Adaptación a motores de corriente continua . . . . .	65
<b>4</b>	<b>Electrónica de control</b>	<b>69</b>
4.1	Definición de la red de control . . . . .	69
4.2	Módulo maestro: CT6811 . . . . .	73
4.2.1	Configuración final de la CT6811 . . . . .	74
4.3	BT6811: Módulo esclavo . . . . .	76
4.3.1	Configuración final de la BT6811. . . . .	79
4.4	Descripción física de la red . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Software de control</b>	<b>87</b>
5.1	Introducción . . . . .	87
5.2	Protocolo de control . . . . .	88
5.3	Software de los módulos esclavos . . . . .	89
5.3.1	Configuración inicial del 68hc11 . . . . .	90
5.3.2	Primera parte: Recepción de tramas . . . . .	91
5.3.3	Segunda parte: Control de los servomecanismos . . . . .	92

5.3.4	Tiempo de uso de la CPU . . . . .	97
5.3.5	Código interno de los módulos esclavos . . . . .	100
5.4	Software del módulo maestro . . . . .	108
5.4.1	Primera función: Programa <i>Puente</i> . . . . .	109
5.4.2	Segunda función: Programa <i>ir Recto</i> . . . . .	111
5.4.3	Código del programa maestro . . . . .	112
5.5	Programas de ayuda en el PC . . . . .	120
5.5.1	XPucho: Programa Generador de Secuencias . . . . .	121
5.5.2	Ejemplo de utilización de XPucho . . . . .	127
5.5.3	Explicación del código fuente de XPucho . . . . .	129
5.5.4	Puchomovil: Programa de Control . . . . .	131
<b>6</b>	<b>Conclusiones y líneas futuras</b>	<b>133</b>
6.1	Conclusiones y reflexión del autor . . . . .	133
6.2	Líneas futuras de desarrollo . . . . .	136
<b>A</b>	<b>Manual de usuario de la BT6811</b>	<b>141</b>
A.1	Introducción . . . . .	141
A.2	Modos de funcionamiento . . . . .	141
A.3	Jumpers de configuración de la BT6811 . . . . .	143
A.4	Localización del resto de componentes . . . . .	144
A.5	Pines de los buses de expansión . . . . .	146
A.6	Utilización de la BT6811 . . . . .	147
A.6.1	BT6811 trabajando como entrenadora . . . . .	147
A.6.2	BT6811 en modo autónomo aislado . . . . .	149
A.6.3	BT6811 en modo autónomo en red . . . . .	153
<b>B</b>	<b>Manual de usuario de la CT6811</b>	<b>163</b>
B.1	Primeros pasos . . . . .	163
B.2	Presentación de la tarjeta CT6811 . . . . .	164
B.2.1	Características de la CT6811 . . . . .	164
B.2.2	Diagrama de bloques de la CT6811 . . . . .	165
B.2.3	Aspecto físico y situación de los componentes . . . . .	167
B.3	Modos de funcionamiento . . . . .	168
B.4	Configuración de la tarjeta . . . . .	169
B.4.1	Configuración de los modos del micro . . . . .	169
B.4.2	Configuración de los jumpers . . . . .	170
B.5	Puertos de expansión . . . . .	172
B.6	Alimentación . . . . .	174
B.7	Conexión al PC . . . . .	175
B.8	Pruebas de funcionamiento . . . . .	178
B.8.1	Probando la CT6811 en modo autónomo. . . . .	178
B.8.2	Probando la CT6811 en modo entrenador. . . . .	178
B.9	Desarrollo de programas para la CT6811 . . . . .	179
B.9.1	Filosofía de trabajo . . . . .	180
B.9.2	Un ejemplo completo . . . . .	180

B.10 68HC11 y comunicaciones serie: El programa MCBOOT. . . . .	184
B.10.1 Programa de ejemplo scihola.asm . . . . .	185
B.10.2 Programa de ejemplo menú . . . . .	185
B.10.3 El MCBOOT y la RAM externa . . . . .	188
B.11 Utilización de la CT6811 con la familia 68HC11 . . . . .	189
B.12 Características del 68HC11 . . . . .	191



# Índice de Figuras

1.1	Concurso de fútbol RoboCup. . . . .	4
1.2	Microbot Tritt de la empresa Microbótica S.L. . . . .	5
1.3	Esquema de microbot reactivo. . . . .	7
1.4	Esquema de un microbot con el nivel de control. . . . .	7
1.5	Hexápodo desarrollado con anterioridad por el autor de éste proyecto. . . . .	9
1.6	Diagrama preliminar de la red de control. . . . .	11
1.7	Robot AIBO de SONY. . . . .	12
1.8	Uno de los kits articulados que distribuye Robot Store. . . . .	14
1.9	Robot “Gokiburi” diseñado por Ahmet ONAT. . . . .	15
1.10	Robot “Thing” diseñado por Willad MacDonald. . . . .	16
1.11	Robot <i>BERTA</i> desarrollado por Ivo Nijhuis & Ronnie Jansen. . . . .	17
2.1	Esquema descriptivo de un insecto. . . . .	20
2.2	Morfología de un perro. . . . .	20
2.3	Estructura doble eje. . . . .	21
2.4	Vista del primer prototipo realizado. . . . .	22
2.5	Diagrama de una de las patas del robot. . . . .	23
2.6	Foto de una pata real del perro robot. . . . .	24
2.7	Cuerpo del primer prototipo. . . . .	24
2.8	Plantilla de la pieza para formar la primera articulación de cada pata. . . . .	25
2.9	Plantilla de la pieza para formar la segunda articulación de cada pata. . . . .	25
2.10	Esquema para ensamblar los motores en el cuerpo del robot. . . . .	26
2.11	Esquema para montar la segunda articulación de cada pata. . . . .	26
2.12	Plantilla para formar la cubierta del cuerpo. . . . .	27
2.13	Foto del primer prototipo una vez construido. . . . .	28
2.14	Foto del robot con las patas extendidas lateralmente. Esto es posible realizarlo por los cuatro servomecanismos que se han añadido. . . . .	29
2.15	Grados de libertad de las patas del robot. . . . .	31
2.16	Morfología final de las patas del robot. . . . .	32
2.17	Ensamblado del hombro del robot. . . . .	33
2.18	Foto del cuerpo del robot en el momento de la construcción. . . . .	34
2.19	Foto del cuerpo del robot en el momento de la construcción. . . . .	34
2.20	Foto de la pata del robot con las articulaciones y el hombro. . . . .	35
2.21	Plano de la nueva estructura (50%): Hombro. . . . .	35
2.22	Plano de la nueva estructura (50%): Cuerpo . . . . .	36
2.23	Plano de la nueva estructura (50%): Articulaciones. . . . .	37
2.24	Plano de la nueva estructura (50%): Cubierta. . . . .	37

2.25	Robot andando. . . . .	38
2.26	Robot descansando. . . . .	39
3.1	Estructura del Futaba S3003. . . . .	42
3.2	Dimensiones del Futaba S3003. . . . .	43
3.3	Señal de control del Futaba S3003. . . . .	45
3.4	Señal PWM para el control de un Futaba . . . . .	47
3.5	Servomecanismo Futaba. . . . .	66
3.6	Descomposición de un servomecanismo. . . . .	67
3.7	Circuito electrónico de un servomecanismo. . . . .	67
3.8	Tope mecánico del servomecanismo. . . . .	68
4.1	Señal de control de un servomecanismo. . . . .	69
4.2	Esquema de la red de control. . . . .	70
4.3	Foto de la tarjeta electrónica CT6811. . . . .	73
4.4	Componentes de la CT6811. . . . .	74
4.5	Buses de salida de la CT6811. . . . .	75
4.6	Foto del módulo esclavo o BT6811. . . . .	77
4.7	Componentes de la BT6811. . . . .	77
4.8	Colocación del cable de los servomecanismos en la BT6811. . . . .	78
4.9	Buses de salida de la BT6811. . . . .	80
4.10	Diagrama de conexión de la red de control. . . . .	82
4.11	Cable tipo bus utilizado para conectar los distintos módulos. . . . .	83
4.12	Diagrama de conexión de los motores. . . . .	85
5.1	Tramas de control. . . . .	90
5.2	Diagrama de recepción de tramas en el módulo esclavo. . . . .	93
5.3	Señales de PWM de los cuatro servos. . . . .	94
5.4	Rutina de interrupción del comparador 1. . . . .	95
5.5	Rutina de interrupción de los comparadores 2, 3, 4 y 5. . . . .	96
5.6	Primer error en el PWM debido a la activación anticipada de las salidas. . . . .	97
5.7	Diagrama del programa maestro. . . . .	110
5.8	Interfaz gráfica del programa generador de secuencias: XPucho. . . . .	122
5.9	Fichero obtenido con la función <i>Convertir</i> . . . . .	123
5.10	Panel de reproducción cíclica. . . . .	125
5.11	Pantalla de selección de ficheros para abrir, guardar o convertir. . . . .	126
5.12	Pantalla de confirmación de salida del programa. . . . .	126
5.13	Diagrama de los pasos para configurar la secuencia <i>saludo</i> . . . . .	128
5.14	Interfaz gráfica del programa Control. . . . .	131
6.1	Robot cuadrúpedo de LEGO Mindstorms[11]. . . . .	135
6.2	Foto del robot GEO I. . . . .	137
6.3	Ejemplo de un programador virtual de movimientos. . . . .	139
A.1	Red de tarjetas BT6811. . . . .	142
A.2	Esquema de conexión de la BT6811 en modo entrenadora. . . . .	143
A.3	Disposición de los jumpers en la BT6811. . . . .	144

A.4	Resto de componentes de la BT6811. . . . .	145
A.5	Programa CTDIALOG bajo Linux. . . . .	150
A.6	Representación de la red de BT6811. . . . .	154
A.7	Cable para conectar los distintos módulos entre sí. . . . .	158
B.1	Diagrama de bloques de la CT6811. . . . .	166
B.2	Componentes de la CT6811. . . . .	167
B.3	Configuración de los modos del 68hc11 mediante los switches de la CT6811. . . . .	169
B.4	Conector de los puertos de expansión. . . . .	173
B.5	Señales de los puertos de expansión. Los puertos se miran como se indica en la figura B.4. . . . .	174
B.6	Jack de alimentación. . . . .	175
B.7	Conexión PC - CT6811. . . . .	175
B.8	Cable de teléfono para unir la CT6811 con el PC. . . . .	176
B.9	Conector DB9 - Teléfono. . . . .	176
B.10	Unión cable - PC. . . . .	177
B.11	Unión cable - CT6811. . . . .	177
B.12	Carga del programa LEDP.S19 en la CT6811 utilizando el <i>downmcu</i> . . . . .	179
B.13	Listado del programa LED.ASM . . . . .	181
B.14	Proceso para compilar y enviar el programa a la CT6811. . . . .	182
B.15	Programa CTDIALOG ejecutado en una CT6811 con un microcontrolador E2. . . . .	183
B.16	Código del programa SCIHOLA. . . . .	186
B.17	Programa <i>ctload</i> actuando de terminal. . . . .	189
B.18	Numeración del zócalo PLCC de 52 pines (vista inferior). . . . .	192
B.19	Patillaje del 68HC11 en formato DIP. . . . .	193
B.20	Patillaje del 68HC11 en formato PLCC: . . . . .	194
B.21	Diagrama de bloques del MC68HC11A1. . . . .	195





# Índice de Tablas

1.1	Niveles de la Torre Bot . . . . .	6
1.2	Direcciones de Internet relacionadas con la robótica. . . . .	12
1.3	Especificaciones de la arquitectura OPEN-R. . . . .	13
3.1	Especificaciones del Futaba S3003. . . . .	44
3.2	Especificaciones del Futaba S9404. . . . .	44
3.3	Modos de funcionamiento de los servomecanismos. . . . .	46
3.4	Numero de tics y sus valores de tiempo asociados . . . . .	48
3.5	Protocolo entre el cliente y el servidor. . . . .	56
4.1	Correspondencia de bits en el Puerto X. . . . .	79
5.1	Significado de las variables del programa. . . . .	96
A.1	Correspondencia de bits en el Puerto X. . . . .	146
A.2	Especificaciones de la trama de control. . . . .	155
B.1	Significado de los jumpers de la CT6811. . . . .	172
B.2	Significado de las señales del conector. . . . .	176
B.3	Modelos de microcontroladores compatibles con la CT6811. . . . .	190